



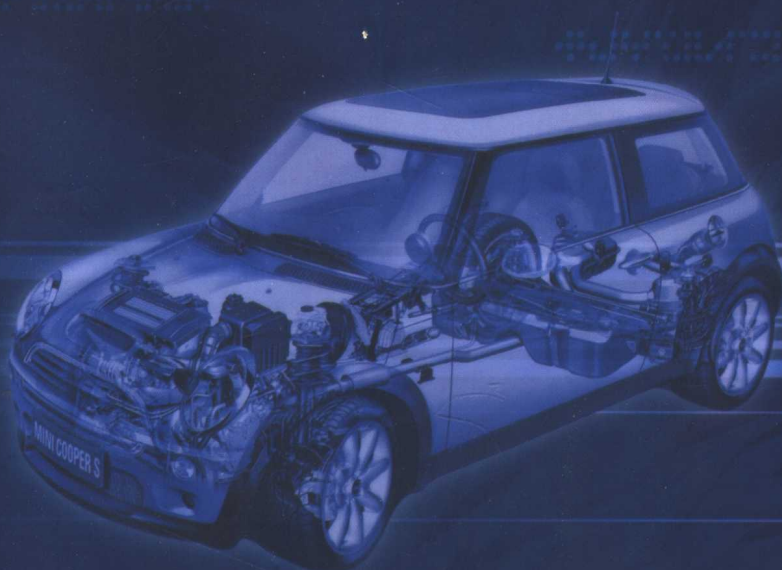
21世纪高等学校教材

普通高等教育“十一五”汽车类专业(方向)规划教材

汽车运行材料

主 编 戴汝泉

副主编 郝晨声



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

QI CHE YUN XING CAI LIAO

21 世纪高等学校教材

普通高等教育“十一五”汽车类专业（方向）规划教材

汽车运行材料

主 编 戴汝泉
副主编 郝晨声
参 编 臧发业 赵长利
郁大同 骆 勇
主 审 刘玉梅



机械工业出版社

本书主要针对汽车运行材料的主要使用性能、评价指标或方法、特点、规格、质量标准、选用技术、最新质量和性能发展趋势,以及合理使用对车辆性能的影响等进行论述,共分车用汽油、车用轻柴油、车用替代燃料、发动机润滑油、车辆齿轮油、汽车液力传动油、车用润滑脂、汽车制动液、液压系统用油、车用其他工作液、汽车轮胎等十一章。

本书除作为高等学校相关专业教材使用外,也可供从事汽车行业的管理人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车运行材料/戴汝泉主编. —北京:机械工业出版社, 2005.7

21世纪高等学校教材

ISBN 7-111-16988-3

I. 汽... II. 戴... III. 汽车-运行材料-高等学校-教材
IV. U473

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第080504号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:赵爱宁 冯春生

责任编辑:冯 铨 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:王伟光 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·15.75印张·385千字

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育汽车类专业（方向）
教材编审委员会

主 任：北京理工大学

林 逸

副主任：黑龙江工程学院

齐晓杰

湖北汽车工业学院

陶健民

扬州大学

陈靖芯

西华大学

黄海波

机械工业出版社

邓海平

委 员：吉林大学

方泳龙

吉林大学

刘玉梅

北京航空航天大学

高 峰

同济大学

陈永革

上海交通大学

喻 凡

上海大学

何忱予

哈尔滨理工大学

徐 雳

武汉理工大学

张国方

山东理工大学

邹广德

山东交通学院

李祥贵

燕山大学

韩宗奇

长沙理工大学

张 新

青岛理工大学

卢 燕

河南科技大学

张文春

南京工程学院

贺曙新

淮阴工学院

刘远伟

秘 书：机械工业出版社

赵爱宁

机械工业出版社

冯春生

序

汽车被称为“改变世界的机器”。由于汽车工业具有很强的产业关联度，因而被视为一个国家经济发展水平的重要标志。近 10 年来，我国汽车工业快速而稳步发展，汽车产量年均增长 15%，是同期世界汽车产量增长量的 10 倍。汽车工业正在成为拉动我国经济增长的发动机。汽车工业的繁荣，使汽车及其相关产业的人才需求大幅度增长。与此相应地，作为人才培养主要基地的汽车工业高等教育也得到了长足发展。据不完全统计，迄今全国开办汽车类专业的高等院校已达百余所。

从未来发展趋势看，打造我国自主品牌、开发核心技术是我国汽车工业的必然选择。但当前我国汽车工业还处在以技术引进、加工制造为主的阶段，这就要求在人才培养时既要具有前瞻性，又要与我国实际情况相结合。要在注重培养具有自主开发能力的研究型人才的同时，大力培养知识、能力、素质结构具有鲜明的“理论基础扎实，专业知识面广，实践能力强，综合素质高，有较强的科技运用、推广、转换能力”特点的应用型人才。这也意味着对我国高等教育的办学体制、机制、模式和人才培养理念等提出了全新的要求。

为了满足新形势下对汽车类高等工程技术人才培养的需求，在中国机械工业教育协会机械工程及自动化学科教学委员会车辆工程学科组的领导下，成立了教材编审委员会，组织制定了多个系列的普通高等教育规划教材。其中，为了解决高等教育应用型人才培养中教材短缺、滞后等问题，组织编写了“普通高等教育‘十一五’汽车类专业（方向）规划教材”。

本系列教材在学科体系上适应普通高等院校培养应用型人才的需求，在内容上注重介绍新技术和新工艺，强调实用性和工程概念，减少理论推导；在教学上强调加强实践环节。此外，本系列教材将力求做到：

1) 全面性。目前本系列教材包括汽车设计与制造、汽车运用与维修、汽车服务工程、物流工程等专业方向，今后还将扩展专业领域，更全面地涵盖汽车类专业方向。

2) 完整性。对于每一个专业方向，今后还将继续根据行业变化对教学提出的要求填平补齐，使之更加完善。

3) 优质性。在教材编审委员会的领导下，继续优化每一本教材的规划、编审、出版和修订过程，让教材的生产过程逐步实现优质和高效。

4) 服务性。根据需要，为教材配备 CAI 课件和教学辅助教材，召开新教材讲习班，在相应网站开设研讨专栏等。

相信本系列教材的出版将对我国汽车类专业的高等教育产生积极的影响,为我国汽车行业应用型人才培养模式作出有益的探索。由于我国汽车工业还处于快速发展阶段,对人才不断提出新的要求,这也就决定了高等教育的人才培养模式和教材建设也处于不断变革之中。我们衷心希望更多的高等院校加入本系列教材建设的队伍中来,使教材体系更加完善,以更好地为高等教育培养汽车专业人才服务。

中国汽车工程学会
中国机械工业教育
协会车辆工程学科

常 务 理 事
副 主 任
林 逸

前 言

随着汽车结构的改进、使用技术的发展,对汽车运行材料的性能和适应性要求也越来越高。如何开发、选用适合相应车辆需用的运行材料,以及合理使用这些运行材料,在过去、现在乃至将来,都是汽车合理使用的重要组成部分。这不仅关系到资源的合理利用和用车的经济效益,还关系到汽车运行性能的发挥,以及对环境的影响。正因为如此,鉴于汽车运行材料具有标准化强的特点,而且随着新技术、新工艺的利用不断出现新的材料,促使其标准在不断地更新变化。

本书的内容主要包括车用汽油、车用轻柴油、车用替代燃料、发动机润滑油、车辆齿轮油、汽车液力传动油、车用润滑脂、汽车制动液、液压系统用油、车用其他工作液、汽车轮胎等,着重就汽车运行材料的主要使用性能、评价指标或方法、特点、规格、质量标准、选用技术、最新质量和性能发展趋势,以及合理使用对车辆性能的影响等进行论述。

本书由山东交通学院戴汝泉主编并统稿。编写工作最终完成情况为:戴汝泉编写绪论和第一章;黑龙江工程学院郝晨声编写第四章;山东交通学院臧发业编写第九章;山东交通学院赵长利编写第二章、第三章和第十一章;淮阴工学院郁大同编写第五章、第八章、第十章;臧发业和西华大学骆勇编写第六章;赵长利和骆勇编写第七章。

本书由吉林大学刘玉梅审阅,并得到机械工业出版社的大力支持,在此表示最衷心的感谢,并对本书在编写过程中参阅过的资料的作者表示最诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中若有错误或不当之处,望读者不吝赐正,以便再版时补充修整,并不尽感谢。

编 者

目 录

序

前言

绪论	1	第四节 车辆齿轮油的选用	138
第一章 车用汽油	29	第五节 在用车辆齿轮油的质量与更换	139
第一节 汽油的蒸发性	29	第六章 汽车液力传动油	141
第二节 汽油的抗爆性	34	第一节 液力传动油的特性与性能指标	141
第三节 汽油的氧化安定性	41	第二节 液力传动油的分类与规格	143
第四节 汽油的腐蚀性	45	第三节 液力传动油的选择与使用	145
第五节 汽油的其他性能	49	第七章 车用润滑脂	149
第六节 汽油的质量标准	50	第一节 润滑脂的组成、分类和使用特点	149
第七节 汽油的选用	53	第二节 润滑脂的使用性能指标	153
第八节 汽油的改良	56	第三节 常用润滑脂的使用性能和特点	157
第二章 车用轻柴油	60	第四节 润滑脂的选择与使用	165
第一节 轻柴油的低温流动性	60	第八章 汽车制动液	167
第二节 轻柴油的雾化和蒸发性	63	第一节 制动液的使用性能要求	167
第三节 轻柴油的燃烧性	67	第二节 制动液的使用性能评定	168
第四节 轻柴油的安定性及其他特性	69	第三节 制动液的质量标准	171
第五节 轻柴油的质量标准及其选用	72	第四节 制动液的选择与使用	175
第三章 车用替代燃料	77	第九章 液压系统用油	178
第一节 醇类燃料	77	第一节 液压油的使用性能要求	178
第二节 乳化燃料	83	第二节 液压油的使用性能评定	179
第三节 天然气	85	第三节 液压油的质量标准	182
第四节 液化石油气	88	第四节 液压油的选择与使用	191
第五节 氢气	90	第十章 车用其他工作液	194
第四章 发动机润滑油	94	第一节 车用发动机冷却液	194
第一节 发动机润滑油的使用性能	94	第二节 车用空调制冷剂	202
第二节 发动机润滑油使用性能的评定试验	98	第三节 汽车风窗玻璃清洗液	209
第三节 发动机润滑油的分类与规格	102	第十一章 汽车轮胎	211
第四节 发动机润滑油的选用	120	第一节 车用轮胎的作用与构造	211
第五节 发动机润滑油的质量与更换	124	第二节 轮胎的分类	213
第五章 车辆齿轮油	129	第三节 轮胎规格与表示方法	219
第一节 车辆齿轮油的使用性能	129	第四节 轮胎系列	227
第二节 车辆齿轮油使用性能的评定试验	131	第五节 轮胎的使用与选择	229
第三节 车辆齿轮油的分类与规格	133	参考文献	241

绪 论

世界范围内有 6 亿多的汽车保有量，在给经济带来繁荣、交通带来便利的同时，也消耗着大量的资源，并对环境造成极大的影响。截止到目前，我国的汽车保有量已达到 2400 多万辆，尽管在世界范围内所占的比重还不算太大，但每年仅消耗的燃油已超过 6000 万 t，消耗的润滑油、传动液、润滑脂、制动液、液压油、橡胶轮胎等材料数量也多得惊人。汽车在运行过程中消耗着这些材料，并对环境产生着不利的影响。如何合理使用这些运行材料，便成了汽车使用的重要一环。另外，汽车本身的性能也受这些材料的影响。研究和认识这些运行材料及其使用性能，对充分发挥汽车性能也有着至关重要的意义。

所谓汽车运行材料，是指在车辆运行过程中，使用周期较短，消耗费用较大，对车辆使用性能有较大影响的一些非金属材料。按其对于汽车运行的作用和消耗方式不同可分为四大类：

(1) 车用燃料 车用燃料主要包括车用汽油、车用柴油、车用替代燃料（如甲醇、乙醇、乳化燃料、天然气、石油气、氢气）等。

车用燃料的使用性能对汽车的动力性、排放性有直接影响。车用燃料的消耗费用约占汽车运输成本的 1/3 左右，直接影响汽车使用的经济性。

(2) 车用润滑油料 车用润滑油料主要包括发动机润滑油、车辆齿轮油、车用润滑脂等。

车用润滑油料的润滑性能、低温流动性能直接影响汽车运动件的有效润滑，其运动粘度直接影响汽车的效率传递，如选用不当，会使得汽车起步困难，并缩短汽车的使用寿命。

(3) 车用工作液 车用工作液主要包括液力传动油、汽车制动液、液压系统用油、车用发动机冷却液、车用空调制冷剂、汽车风窗玻璃清洗液等。

车用工作液的消耗费用和其他运行材料相比，虽然不是太多，但其对汽车性能，如行驶安全性、行驶舒适性等，有显著的影响，其选用的合理与否，对节约车用燃料和车用润滑油料，发挥车辆动力性，延长汽车使用寿命，有直接关系。

(4) 汽车轮胎 轮胎是汽车行驶系的主要组成部分之一。其使用的合理与否，直接关系到汽车的行驶安全性和使用经济性。

以上所述的这些运行材料跟石油有着密切的关系，有的直接来源于石油，有的是以石油为原材料加工而成，所以认识和了解石油对研究运行材料有着重要的作用。

一、石油的基本知识

石油是从地层深处开采出来的一种粘稠液体。未经任何炼制的石油，也叫原油。它是古代动物、植物和水中生物的遗体，由于地壳的运动，被压在地层深处，在缺氧、高温和高压的条件下，经过复杂的化学变化，逐渐演变而形成的。

石油是重要的能源之一，也是工业、农业、交通运输业和国防事业各种设备所必不可少的润滑剂和有机化学工业所需的重要原料，在国民经济中占有极其重要的地位。

1. 石油的物理性质

在常温下,石油大都呈液体或半液体状态,颜色多为黑色或深棕色,有特殊气味,密度多在 $0.80 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$ 之间,一般不大于 1 g/cm^3 ,凝点的差异较大,有的高达 30°C 以上,有的却低于 -50°C 。表 0-1 所示为我国部分石油产地原油的物理性质。

表 0-1 我国部分石油产地原油的物理性质

原油性质	大庆混合原油	胜利混合原油	大港混合原油	玉门原油	克拉玛依原油	孤岛混合原油
相对密度 ρ_4^{20}	0.8552	0.9070	0.8696	0.8698	0.8678	0.9492
运动粘度 (50°C) / ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	22.15	121.38	20.64	15.9	19.23	243.5
凝点/ $^\circ\text{C}$	24	20	20	8	-50	-4
含盐/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) (NaCl)	—	140	74	1480	9	19.92
酸值/ ($\text{mgKOH} \cdot \text{g}^{-1}$)	—	0.56	—	0.40	0.78	1.70

2. 石油的元素组成

石油主要由碳、氢、硫、氧、氮五种元素组成,它们在石油中的含量因产地不同而略有差别,其质量分数的范围大体如下:

碳 $83.0\% \sim 87.0\%$;

氢 $10.0\% \sim 14.0\%$;

硫 $0.05\% \sim 8.00\%$;

氧 $0.05\% \sim 2.00\%$;

氮 $0.02\% \sim 2.00\%$ 。

从上面的数字可以看出,碳、氢两种元素含量占石油元素组成的绝大部分,二者合计为 $96\% \sim 99\%$,且二者含量的比值 (C/H) 大体在 $6 \sim 7.5$ 范围。国内部分油田的原油中碳、氢两种元素的质量分数所占含量及二者的比值如表 0-2 所示。

表 0-2 国内部分油田的原油中碳、氢元素的质量分数及二者的比值

石油产地	$w_{\text{C}} (\%)$	$w_{\text{H}} (\%)$	$w_{\text{C}}/w_{\text{H}}$
大 庆	85.87	13.73	6.25
胜 利	86.26	12.20	7.07
孤 岛	85.12	11.61	7.33
辽 河	85.86	12.65	6.79
新 疆	86.13	13.30	6.48
大 港	85.67	13.40	6.39

注: w_{C} 是指 C 的质量分数, w_{H} 是指 H 的质量分数。

此外,石油中还含有多种金属元素和非金属元素。金属元素有镍、钒、铁、钾、钠、钙、镁、铜、铝、钛、钴、锌等;非金属元素有氯、碘、磷、砷、硅等。它们在石油中的质量分数极微小,一般都在 0.003% 以下。

3. 石油的烃类组成

烃即是由碳和氢两种元素组成的碳氢化合物。石油的烃类组成主要包括烷烃、环烷烃和

芳香烃三类，少数石油中还含有烯烃。

(1) 烷烃 烷烃是开链饱和烃，分子式通式为 C_nH_{2n+2} ，分子结构特点是碳原子间以单键相连成链状，其余价键为氢原子所饱和。

烷烃的命名是按分子中含碳原子的数目为序的，1~10 的分别用甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸表示；10 以上的则直接以数字表示。例如：分子中含有 1 个碳原子的称为甲烷，含有 7 个碳原子的称为庚烷，含有 16 个碳原子的称为十六烷，等等。

烷烃分子中少一个氢原子的原子团称为烷基，如甲烷 (CH_4) 分子中少一个氢原子 ($-CH_3$) 称为甲基。

在烷烃同系物中，由于碳原子数的不同，它们的性质也有所差别。常温常压下，烷烃中碳原子数从 1~4 的是气体，碳原子数从 5~16 的是液体，是汽油和煤油的主要组分；碳原子数 17 及以上的是固体，大都存在于柴油和润滑油馏分中。固态烷烃在柴油中呈溶解状态存在。

烷烃有正构烷烃和异构烷烃之分。碳链呈直链的为正构烷烃，带侧链或支链的为异构烷烃。

正构烷烃和异构烷烃虽然分子式相同，但由于分子的结构不同，所以，它们的物理性质除有相似之处外，也存在一定差别。表 0-3 所示为几种烷烃的物理性质。表中数据表明，烷烃密度均小于 $1g/cm^3$ ，正构烷烃的密度、相对分子量、沸点和熔点随碳原子数增多而升高。异构烷烃受分子中侧链影响，沸点和熔点比相同碳原子数的正构烷烃低。同时，由于异构烷烃存在同分异构现象，其同分异构体之间的性质也稍有不同。

表 0-3 几种烷烃的物理性质

名 称		分子式	密度/ (g·cm ⁻³) (20℃)	相对分子质量	沸点/℃	熔点/℃
正 构 烷 烃	丁 烷	C ₄ H ₁₀	0.5788	58.124	- 0.50	- 138.25
	戊 烷	C ₅ H ₁₂	0.6262	72.151	36.06	- 129.73
	己 烷	C ₆ H ₁₄	0.6594	86.178	68.73	- 95.32
	庚 烷	C ₇ H ₁₆	0.6837	100.205	98.43	- 90.58
	辛 烷	C ₈ H ₁₈	0.7025	114.232	125.68	- 56.76
异 构 烷 烃	异丁烷	C ₄ H ₁₀	0.5572	58.120	- 11.27	- 159.60
	2-甲基丁烷	C ₅ H ₁₂	0.6197	72.151	27.84	- 159.91
	2, 2-二甲基丙烷	C ₅ H ₁₂	0.5910	72.151	9.50	- 16.57
	2-甲基己烷	C ₇ H ₁₆	0.6786	100.205	90.05	- 118.27
	2-甲基庚烷	C ₈ H ₁₈	0.6779	114.232	117.65	- 108.99
	2, 2, 4-三甲基戊烷	C ₈ H ₁₈	0.6919	114.232	99.24	- 107.37

烷烃在常温常压下，化学性质稳定，不易被空气氧化而变质。但随着温度的升高，烷烃的化学活性增强。正构烷烃由于碳链直线排列，变得不安定，易被空气氧化生成过氧化物，发火性能好，是压燃式发动机燃料的良好成分；异构烷烃和正构烷烃相比，则结构紧凑，性质相对安定，不易被空气氧化生成过氧化物，发火性能差，不易发生爆燃，是点燃式发动机燃料的良好成分。

(2) 环烷烃 环烷烃是闭链饱和烃，分子式通式为 C_nH_{2n} ，其分子结构特点是碳原子以单键连接成环状，其他键为氢原子所饱和。

环烷烃的物理性质，如密度、沸点和熔点等，比相同碳原子数的烷烃高，但密度仍小于 $1g/cm^3$ ，且其密度随环烷烃分子量的增大或多环环烷烃环数的增多而增大，其沸点随环烷烃分子量的增大或多环环烷烃环数的增多而升高。在常温常压下，相对分子质量小的环烷烃如环戊烷呈液体状态，而相对分子质量大的环烷烃则呈固体状态。由于燃油中的环烷烃大都是单环的五碳环化合物和六碳环化合物，所以它们均以液体状态存在于燃油中。

环烷烃与烷烃相比同为饱和烃，化学性质相似，在常温常压下性质安定，不易被氧化变质，一般须在接近 $400^\circ C$ 以上时才能自燃。环烷烃在高温下的发火性介于正构烷烃和异构烷烃之间，热值略小，凝点低，润滑性好，是汽油和润滑油的良好成分。

(3) 芳香烃 芳香烃是分子中具有苯环结构的烃。分子式具有多种不同的通式，如 C_nH_{2n-6} 、 C_nH_{2n-12} 、 C_nH_{2n-18} 等。

根据苯环的多少和结合形式的差别，芳香烃分为单环、多环和稠环三类。分子中含有一个苯环的芳香烃，称为单环芳香烃；分子中含有两个或两个以上独立苯环的芳香烃称为多环芳香烃；分子中含有两个或两个以上苯环，且苯环彼此间通过共用两个相邻碳原子稠合而成的芳香烃称为稠环芳香烃。

芳香烃在常温下呈液态或固态，具有强烈的芳香气味，密度一般为 $0.86 \sim 0.9g/cm^3$ ，比相同碳原子数的其他烃类密度大。

由于苯环的存在，芳香烃的化学性质很稳定，是所述几类烃中性质比较稳定的一种，尤其是没有侧链的芳香烃，其性质最稳定。但在一定条件下，带侧链的芳香烃的侧链易被氧化成有机酸，带侧链的多环芳香烃和稠环芳香烃较易被氧化成胶状物。

由于芳香烃化学性质稳定，自燃点高，不易被氧化，使得其抗爆性较好，而发火性较差，因此，芳香烃是压燃式内燃机燃料的不良成分，是点燃式内燃机燃料的良好成分。但经研究表明，芳香烃作为点燃式内燃机燃料的组分时，会增大排放废气中多环芳香烃、酚类、芳醛等有害物质的含量。且由于其燃烧温度较高，使得燃烧产物中的氮氧化物 (NO_x) 的排放浓度也增加，这对环境保护十分不利。所以，为了满足汽车排放要求，在点燃式内燃机的燃料中，也要控制芳香烃的含量不要过大。

(4) 烯烃 烯烃是分子结构中含有碳碳双键的烃。烯烃为不饱和烃，分子式具有多种不同的通式，如 C_nH_{2n} 、 C_nH_{2n-2} 等。

根据双键的位置、数量等结构特点，烯烃分为单烯烃（一般简称为烯烃）、二烯烃和环烯烃等。

在常温常压下，少于 5 个碳原子的烯烃呈气体状态，5 个碳原子以上的烯烃呈液体状态，碳原子个数多的烯烃呈固体状态。与烷烃相似，烯烃的密度和沸点随分子中碳原子个数的增多而增大，但密度都小于 $1g/cm^3$ 。

不是所有的石油中都含有烯烃，只是个别石油中才含有烯烃。但石油在加工过程中，大分子烷烃和环烷烃因受热分解，易生成烯烃。因此，在石油产品中，一般都含有一定数量的烯烃。

烯烃的双键不稳定，很容易进行加成、氧化和聚合等反应。分子中具有两个双键的二烯

烃更是不稳定，更易发生上述反应。所以，油品中如含有烯烃或二烯烃等不饱和烃，在贮存或使用过程中易发生变质。

另外，由于烯烃的辛烷值高，凝点低，使得它在汽油和柴油中都有一定含量，利用它来改善汽油的抗爆性和柴油的低温流动性。但烯烃对汽车排放有不利影响，烯烃等有机挥发物是生成臭氧和毒性物质的重要来源。所以，在汽车燃料中应严格控制烯烃的含量。

综上所述，石油中各烃类对石油产品性质的影响如表 0-4 所示。

表 0-4 石油中各烃类对石油产品性质的影响

烃 类		密度	自燃点	辛烷值	十六烷值	化学安定性	粘度	粘温性	低温性
烷 烃	正构	小	低	低	高	好	小	最好	差 (高分子)
	异构		高	高	低	差(分支多)			好
环 烷 烃	少环	中	中	中	中	好	大	好	好
	多环					差(多侧链)		差	
芳 香 烃	少环	大	高	高	低	好	大	好	中
	多环					差(长链)		差	
烯烃		稍大于烷烃	高	高	低	差	—	—	好

4. 石油的非烃类组成

石油中除烃类化合物外，还有一些非烃类化合物。石油中的非烃类化合物主要包括含硫化合物、含氧化合物、含氮化合物、胶质和沥青质、矿物质等。它们在石油中的含量因产地不同而不同，最高的可达百分之十几。它们在石油馏分中的分布也是不均匀的，大部分集中在重质组分特别是渣油中。它们对石油的加工、石油产品的使用性能影响很大，是石油加工中多数精制过程的去除对象。

(1) 含硫化合物 不同的石油的硫含量差别很大，从万分之几到百分之几，甚至是百分之十几。如我国克拉玛依石油硫的质量分数为 0.04%，委内瑞拉石油硫的质量分数为 5.48%，而我国华北有些石油硫的质量分数竟高达 9.5%~11.3%。

硫在石油中的含量随馏分沸点升高而增加，大部分集中在渣油（重油）中。从表 0-5 中可明显地看到这一规律。

表 0-5 硫在石油馏分中的质量分数分布

(%)

原油来源	原油中	< 200℃ 馏分中	200~350℃ 馏分中	350~500℃ 馏分中	> 500℃ 馏分中
胜利混合原油	0.80	0.15	0.32	0.47	1.26
大庆混合原油	0.10	0.02	0.045	0.055	0.17

硫在石油中除少量以元素硫(S)形式存在外，大多数以硫化物形式存在。石油中的硫化物包括硫化氢(H₂S)、硫醇(RSH)、硫醚(RSR')、环硫醚、二硫化物(RSSR')、噻吩及其同系物等。

石油中的元素硫和硫化氢大多是其他含硫化合物的分解产物，同时两者又可相互转变。硫化氢被空气氧化可以生成元素硫，硫与石油烃类在 200~250℃ 以上作用时又可生成硫化氢等硫化物。

硫醇在石油中的含量不多，其沸点较相应的醇类要低得多，多存在于低沸点馏分（如汽

油馏分)中。硫醇分子式中的R基可以是烷基、环烷基或芳香基。硫醇不溶于水,低分子硫醇如甲硫醇(CH_3SH)、乙硫醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$)具有强烈的特殊臭味,其浓度为 $2.2 \times 10^{-12} \text{ mg/m}^3$ 时,人的嗅觉就可以感觉到,因而可用它作臭味剂,加在民用天然气中,当天然气有泄露时,人们就会及时闻到,避免发生事故。

硫醚是中性液体,热稳定性较高,与金属不发生作用,是石油中含量较多的硫化物之一。硫醚中的R基可以是烷基或环烷基。当R基为环烷基时,也称为环硫醚。

二硫化物(RSSR')在石油中含量较少,且多集中于高沸点馏分中,它也呈中性,不与金属作用。但热稳定性不好,受热易分解,生成硫醚、硫醇或硫化氢等。

噻吩及其同系物是一种芳香烃的杂环化合物,物理化学性质与苯系芳香烃很接近,是石油中的主要含硫化合物。

石油中的硫化物对石油产品的使用性能都有影响,且对金属等造成腐蚀。按它们对金属的腐蚀能力,石油中的硫化物可分为活性硫化物和非活性硫化物。

活性硫化物是指能直接和金属起反应,对金属造成腐蚀的硫化物,如元素硫、硫化氢和低分子硫醇等。

非活性硫化物是指不能直接和金属起反应,但在燃烧后生成的二氧化硫和三氧化硫等酸性氧化物能和金属起反应,对金属造成间接腐蚀的硫化物,如硫醚(RSR')、环硫醚、二硫化物(RSSR')以及噻吩及其同系物等。

无论是活性硫化物还是非活性硫化物,都是石油加工应清除的对象。

(2) 含氧化合物 石油中的氧含量一般都很低,约占千分之几的范围,个别地区石油中的氧含量较高,可达2%~3%。它们在石油中均以含氧化合物状态存在。

石油中的含氧化合物分酸性氧化物和中性氧化物两类。酸性氧化物有环烷酸、脂肪酸和酚类,统称为石油酸。中性氧化物有醛、酮等,它们在石油中含量极少。

石油酸中最主要的是环烷酸,约占石油酸的90%。所有的石油中均含有环烷酸,其质量分数一般在1%以下。

环烷酸的物理性质随分子量的不同而不同。分子量较小的环烷酸呈液体状,粘度不太高,有特殊气味,颜色较浅。分子量较大的环烷酸呈粘稠状,一般为暗褐色。

环烷酸的化学性质和脂肪酸相似,它易溶于油,不溶于水。环烷酸能与铁、铜、锡等金属作用生成相应的盐类,造成对金属的腐蚀,所以在石油炼制时,应将其除去。

(3) 含氮化合物 石油中的氮含量较少,一般为万分之几到千分之几。

石油中的含氮化合物分碱性氮化物和碱性氮化物两类。碱性氮化物有吡啶、喹啉、异喹啉和吡啶的同系物等;非碱性氮化物有吡咯、吡啶及它们的同系物等。

含氮化合物的性质很不安定,易氧化生成有色胶质,使油品质量下降。另外,当燃烧氮化物含量高的燃油时,会有臭味产生。所以,含氮化合物也是石油产品精制的清除对象。

(4) 胶质和沥青质 胶质和沥青质是石油中结构最复杂、分子量最大的物质,由碳、氢、硫、氧、氮等元素组成。

胶质和沥青质占石油中非烃类化合物的绝大部分。胶质是淡黄色到黑褐色的粘稠液体或半固体物质,可随石油烃类一起挥发,密度为 $1.0 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$,平均相对分子量为500~1000。随着石油馏分沸点升高,胶质含量增大,胶质的相对分子量也增加。其中,15%的胶质含在石油馏分中,85%的胶质含在渣油中。

沥青质是暗褐色到黑色的非晶形固体粉末,不随烃类挥发,密度稍大于胶质,平均相对分子量为 3000~5000,是石油中分子量最大、结构最复杂的组分。沥青质全部集中在渣油中。

石油中的胶质和沥青质,可使石油产品的颜色加深,抗氧化的能力降低,粘温性变差,燃烧后于燃烧室、活塞等处易形成积炭,增大发动机的磨损。所以,胶质和沥青质也是石油产品精制的清除对象。

(5) 矿物质 矿物质在石油中的含量极微,一般是万分之几,甚至十万分之几。

石油中的矿物质主要由微量元素组成,燃烧后会形成灰分。石油中的矿物质含量多,会影响石油产品的质量,所以,在石油产品精制过程中,也应尽量将其清除干净。

5. 石油的馏分组成

馏分就是石油在分馏过程中所得到的蒸馏物。

石油是个多组分的复杂的混合物,在研究石油的组成时,通常没有必要把石油分馏成单个组分,而是把它按沸点高低切割成几个馏分。把这些馏分作为我们的研究对象,了解馏分中各类化合物的含量和分布规律,以便了解各馏分所对应的石油产品的性能,为石油产品在生产实际中的使用提供指导。

按分馏过程,石油的馏分组成通常分为汽油馏分、煤油馏分、柴油馏分和润滑油馏分等。但这里的汽油馏分、煤油馏分、柴油馏分和润滑油馏分不等同于汽油、煤油、柴油和润滑油等石油产品,要想得到各馏分所对应的石油产品,必须对相应的馏分进行再加工。

(1) 汽油馏分 汽油馏分为在分馏塔上部得到的轻质馏分,蒸发温度一般在 35~200℃ 范围。汽油馏分中含的正构烷烃碳原子数多为 5~11,异构烷烃碳原子数稍多,环烷烃和芳香烃多为单环。其中烷烃的质量分数最大,约占 50%。

(2) 煤油馏分与柴油馏分 煤油馏分与柴油馏分为在分馏塔中部得到的中质馏分,蒸发温度一般在 200~350℃ 范围。馏分中含的正构烷烃碳原子数多为 11~20,异构烷烃碳原子数稍多,环烷烃和芳香烃环数增多,除单环外,还有双环和三环的。其中烷烃的质量分数也比较大,约占 40%。

(3) 润滑油馏分 润滑油馏分为在分馏塔下部得到的重质馏分,蒸发温度一般在 350~500℃ 范围。馏分中含的正构烷烃碳原子数多为 20~36,异构烷烃碳原子数稍多,环烷烃和芳香烃环数多为三环以上。其中环烷烃的质量分数较大,约占 40%。

6. 石油的分类

石油的组成极为复杂,对石油确切分类也十分困难。一般按下列依据对石油进行分类。

(1) 按原油的密度分类

轻质原油 密度小于 $0.878\text{g}/\text{cm}^3$;

中质原油 密度介于 $0.878\sim 0.884\text{g}/\text{cm}^3$ 之间;

重质原油 密度大于 $0.884\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(2) 按硫含量分类

低硫原油 硫的质量分数低于 0.5%;

含硫原油 硫的质量分数介于 0.5%~2.0% 之间;

高硫原油 硫的质量分数大于 2.0%。

我国原油多为低硫原油。

(3) 按蜡含量分类

低蜡原油 凝点低于 -16°C ;

含蜡原油 凝点介于 $-15^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间;

多蜡原油 凝点大于 21°C 。

凝点的测定是从石油中取出某一馏分, 其粘度为 $53\text{mm}^2/\text{s}$ (50°C), 然后测其凝点。

(4) 按胶含量分类

低胶原油 胶的质量分数小于 17% ;

含胶原油 胶的质量分数介于 $18\% \sim 35\%$ 之间;

多胶原油 胶的质量分数大于 35% 。

(5) 按特性因数分类 特性因数为

$$K = \frac{1.26 \sqrt[3]{T}}{\rho_{15.6}^{15.6}}$$

式中, K 为特性因数; T 为原油馏分的平均沸点, 以热力学温度 (K) 表示。

原油按特性因数大小分:

石蜡基原油 特性因数 $K = 12.1 \sim 12.9$, 其特点是含蜡量较高, 凝点较高, 密度较小, 直馏汽油的辛烷值较低, 直馏柴油的十六烷值较高, 制得的润滑油粘温性能较好;

中间基原油 特性因数 $K = 11.5 \sim 12.1$, 其特点是含有一定数量的烷烃、环烷烃和芳香烃, 性质介于石蜡基原油和环烷基原油之间;

环烷基原油 特性因数 $K = 10.5 \sim 11.5$, 其特点是含有较多的环烷烃, 凝点较低, 密度较大, 直馏汽油的辛烷值较高, 直馏柴油的十六烷值较低, 制得的润滑油粘温性能较差。

(6) 按关键馏分特性分类 按关键馏分特性可把原油分为七类, 即石蜡基原油、石蜡-中间基原油、中间-石蜡基原油、中间基原油、中间-环烷基原油、环烷-中间基原油和环烷基原油。

分类方法是: 用特定仪器, 把石油在常压和减压下蒸馏出两个馏分: 在常压下馏程为 $250 \sim 275^{\circ}\text{C}$ 的馏分为第一关键馏分; 再将所剩残油在 5.33kPa 的压力下, 进行减压蒸馏取得 $275 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 的馏分为第二关键馏分。测定两个关键馏分的密度, 然后对照表 0-6 所示馏分的密度或特性因数 K 值来确定两个关键馏分是属于哪一个基, 再按表 0-7 所示确定该原油的类别。

表 0-6 关键馏分的分类指标

关键馏分	指 标	石蜡基	中间基	环烷基
第一关键馏分	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) (20°C)	< 0.8207	$0.8207 \sim 0.8560$	> 0.8560
	特性因数 K	> 11.94	$11.45 \sim 11.94$	< 11.45
第二关键馏分	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) (20°C)	< 0.8721	$0.8721 \sim 0.9302$	> 0.9302
	特性因数 K	> 12.2	$11.45 \sim 12.2$	< 11.45

表 0-7 关键馏分的特性分类

编 号	第一馏分类别	第二馏分类别	原油的类别
1	石蜡基	石蜡基	石蜡基
2	石蜡基	中间基	石蜡-中间基
3	中间基	石蜡基	中间-石蜡基
4	中间基	中间基	中间基
5	中间基	环烷基	中间-环烷基
6	环烷基	中间基	环烷-中间基
7	环烷基	环烷基	环烷基

7. 石油的炼制方法

石油是十分复杂的混合物，不能直接使用，需送到炼油厂进行炼制，生产出符合质量要求的石油产品，才能满足各方面的使用需要。

常用的石油炼制方法有：常压蒸馏、减压蒸馏、热裂化、催化裂化、加氢裂化、催化重整、烷基化、延迟焦化等。

(1) 常压蒸馏 常压蒸馏是根据组成石油的各类烃分子的沸点不同，利用加热、蒸发、冷凝等步骤对石油进行的直接分馏。

常压蒸馏一般将石油分割成沸点范围为 $35 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 的汽油馏分， $175 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 的煤油馏分， $200 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 的柴油馏分， 350°C 以上的润滑油或裂化原料馏分等组分。

常压蒸馏流程如图 0-1 所示。首先将石油用油泵打入加热炉，加热到 $350 \sim 360^{\circ}\text{C}$ ，然后送入常压蒸馏塔中。石油中各馏分根据自己的沸点和蒸发能力分别到达蒸馏塔相应部位。如轻馏分，沸点低，蒸发性好，能上升到塔顶部位；重馏分，沸点高，蒸发性差，只能留于塔的下部。于是，在蒸馏塔中，由上至下，馏分逐渐变重，依次是：塔顶部位的石油气体；塔上部的汽油馏分；塔中部的煤油馏分；塔下部的轻柴油馏分；再下部的重柴油馏分；以及塔底部的重油馏分。重油馏分由塔底部流出后再进入减压蒸馏系统。

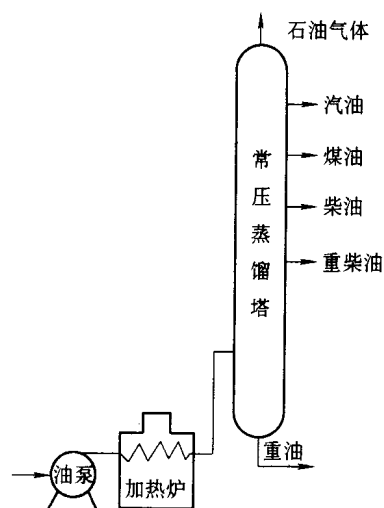


图 0-1 常压蒸馏流程图

以上通过直接蒸馏得到的石油馏分，通常称为直馏产品。直馏产品主要是由烷烃和环烷烃组成，一般不含或含很少量的不饱和烃，所以它的性质比较安定，不易氧化变质，适于长期贮存。有关直馏产品的烃类组成，如表 0-8 所示。

表 0-8 直馏产品烃类组成

原油馏分	烃类的质量分数 (%)		
	烷烃和环烷烃	芳香烃	烯烃
大庆原油的直馏汽油	96.06	3.91	0
新疆原油的直馏汽油	94.30	5.17	0.53